

# Streamlines y LIC: Visualización de Campos Vectoriales

Claudio Augusto DELRIEUX, Julián Ariel DOMINGUEZ y Andrés Pablo REPETTO

Universidad Nacional del Sur, Av. Alem 1253, (8000) Bahía Blanca, Argentina

[usdelrie@criba.edu.ar](mailto:usdelrie@criba.edu.ar), [jdoming@uns.edu.ar](mailto:jdoming@uns.edu.ar), [repetto@uns.edu.ar](mailto:repetto@uns.edu.ar)

## 1. Descripción de la línea de trabajo

En los sistemas no lineales y caóticos la Visualización Científica es especialmente útil debido a la imposibilidad que presentan estos sistemas en general para hallar soluciones analíticas. Para estos sistemas se han creado numerosos métodos para representar mapas vectoriales (vectores, partículas, íconos, Streamlines, Hyperstreamlines, Spot Noise, LIC, etc.) [1,3,7,8,9] de las cuales traeremos en relieve dos técnicas destacadas en el tema: Streamlines y LIC. En esta línea de investigación buscamos un análisis de las características de estos dos métodos, aplicados a sistemas bidimensionales, y estudiamos las posibilidades de desarrollar un nuevo método que intente combinar propiedades ventajosas de ambos.

## 2. Streamlines

Esta técnica se basa en la representación de trayectorias, mediante el posicionamiento inicial de una “semilla” y la visualización del camino que recorre al dejarla evolucionar. En este método es de fundamental importancia la posición inicial de la semilla, pues de ella depende que tan “parejo” será el cubrimiento de las zonas importantes como puntos fijos, ciclos límite o atractores. Entre las mejoras que se pueden introducir al método encontramos trabajos realizados sobre alternativas para la distribución de las semillas [5,6] para lograr controlar el cubrimiento del diagrama, como también investigaciones efectuadas sobre el uso del color para mejorar la percepción de las características clave del sistema. Para solucionar el problema del cubrimiento del diagrama de fases, introducimos aquí la idea del “*Path Search*”, que consiste en el recorrido “hacia atrás” de la trayectoria, hasta encontrar la “fuente”. De ahí se recorre la trayectoria hasta llegar al “sumidero”, o morir después de cierta cantidad de iteraciones en un ciclo límite. Esto lo podemos apreciar en la Figura 1.

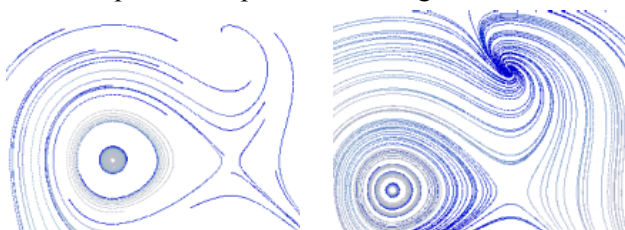


Figura 1. Diagrama de fases sin y con path search.

Otra técnica derivada de los streamlines podría ser la graficación del campo a través del uso de la desaturación en trayectorias cortas. Sin embargo, como aquí utilizaremos una longitud de trayectorias fija, se pierde la información de “velocidad”. En la figura 2 observamos esta técnica. Como conclusión, esta técnica tiene la ventaja de ser rápida, y la utilización de metáforas como la del color le da valor añadido para la visualización del espacio de fases de un sistema

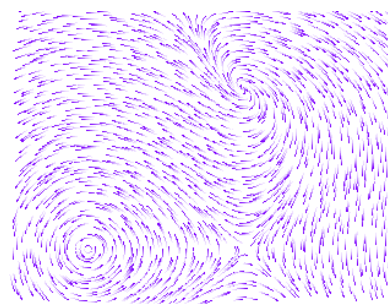


Figura 2. Disminución de la saturación.

## 3. Line Integral Convolution (LIC)

La idea básica de este tipo de métodos es la convolución local entre la textura y un segmento de trayectoria, para cada punto del mapa. Cabral y Leedom [1] introdujeron en 1993 la idea de efectuar la evaluación de la convolución sobre un segmento de trayectoria (Line Integral Convolution, o LIC). La LIC se hace atractiva para la visualización de sistemas desconocidos, ya que el resultado visual no depende de la disposición de las semillas. Es muy conveniente también porque la visualización del flujo es continua y las principales características del sistema quedan al descubierto. En este método, al igual que con los streamlines, la calidad depende de la longitud de la curva convolucionada, o ancho de ventana (kernel), pero también depende de la función peso del kernel. En la Figura 3 se presenta el mismo sistema dinámico, graficado con esta técnica y utilizando distintas longitudes de kernel  $L$ . El mejor resultado se logra a con mayor longitud, pero su costo computacional se vuelve inaceptable.

La función peso del kernel puede adoptar distintas formas, y su variación ha sido utilizada en trabajos anteriores [1,11,12,16] para producir una

sensación de sentido del flujo, o para lograr animaciones mediante su variación.

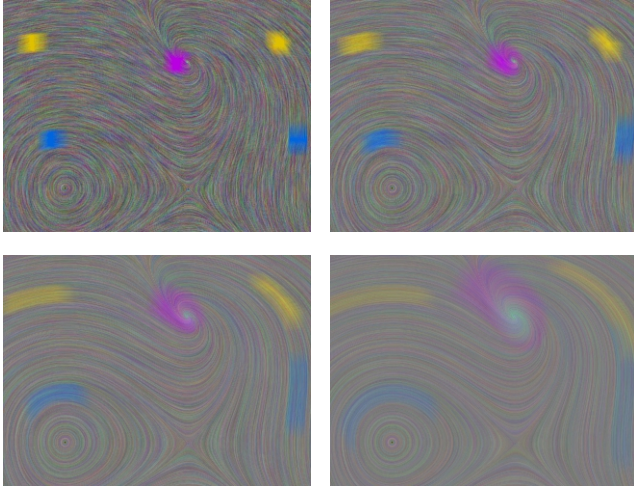


Figura 3. Cuatro evaluaciones, con  $L=10$ ,  $t=9.4s$ .,  $L=20$ ,  $t=20.2s$ .  $L=40$ ,  $t=41.8s$ ., y  $L=80$ ,  $t=91.7s$ .

A partir de una continua búsqueda de mejoras en el método, surgieron nuevos tipos de LICs que mejoran en uno a varios aspectos el algoritmo original. El primero de éstos busca adaptar el paso en la evaluación a diferencias finitas hasta encontrar un nuevo texel vecino en la trayectoria. Este LIC adaptativo produce imágenes en un tiempo diez veces menor, con calidad indistinguible del original (ver Figura 4).

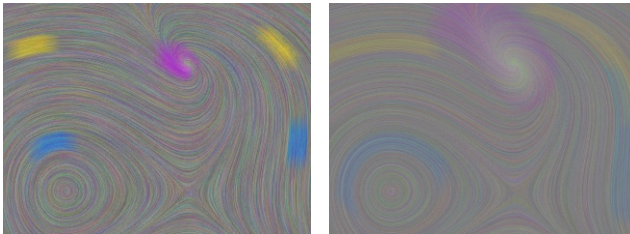


Figura 4. LIC adaptativo.  $L=20$ ,  $t=3.8s$  y  $L=80$ ,  $t=13.4s$ .

La forma del kernel también sirve para producir un efecto de sentido, ya que si utilizamos un filtro “sólo hacia adelante”, o positivo, la LIC resultante mostrará los nodos atractivos como fuentes de color, emanando o dispersando a su alrededor el color del nodo; en cambio si el kernel es “sólo hacia atrás”, o negativo, el efecto que resulta es el mismo pero para los nodos repulsivos. Este es el principio básico de los métodos LIC “direccionales” como OLIC y FROLIC [16], los cuales se tratan de LICs Orientadas por la forma del kernel. Además es utilizada para varios de los métodos de animación de LICs, usando funciones kernel que varían entre cuadro y cuadro [1,11]. En resumen, la LIC tiene como ventaja principal un cubrimiento parejo del diagrama de fases del

sistema, dando una idea completa del comportamiento del flujo; y como principal desventaja el costo computacional que tiene su evaluación.

#### 4. Influencia de la textura

El aspecto de la textura juega un rol muy importante en la generación de la LIC, aunque por mucho tiempo no se la haya considerado. Es clásico encontrar en estos trabajos ruido como textura de entrada, a lo sumo adaptado en frecuencia al campo a visualizar [17]. Como veremos, la textura de entrada puede ayudarnos a visualizar el campo que estamos describiendo con el gráfico, dado que es un medio para introducir determinadas características geométricas, las que –al interactuar con el campo del sistema dinámico– permiten hacer visibles los rasgos característicos del sistema.

En la Fig. 5 podemos ver algunos ejemplos de un mismo sistema dinámico convolucionado con diferentes texturas. En el caso *a* no tenemos ningún elemento distintivo, en *b* se agregan cuadrados de color, y se distinguen por su forma, color y posición en la textura. Los casos *c* y *d* son similares al *a*, sólo que la uniformidad de contraste permite una superficie pareja en *c*, En *d* vemos que se distingue cada cuadrado como “elemento” de una distribución pareja, separado uno del otro por un color constante (blanco), mientras que el cambio de color le agrega orientación. En los casos *e* y *f*, así como el *k*, es notable el resalte que toma una línea, o elemento rectilíneo, cuando el campo circula en esa dirección. Tal propiedad se hace visible en las rayas de un solo sentido, y aún más interesante en el caso *k* provocando un efecto de “luz de color” dependiente del ángulo del flujo. El *g* y *h* son similares, sólo que el hecho que el color de las líneas dependa del ángulo, junto a la mayor variedad de ángulos “resaltables”, provoca un mayor colorido en la LIC de salida. Los casos *i* y *j* poseen segmentos de recta en todas las direcciones, causando un recorrido más suave, como de grandes streamlines. En *j* incluimos la característica distintiva que los elementos de cada porción de círculo tengan un color dependiente de la dirección en la que está, provocando un efecto que combina las características del caso *g* y del *i*, dando curvas más suaves, cuyo color denota la dirección en esa sección de la trayectoria. Es de destacar el comportamiento de los trazos rectilíneos, ya que tiene en cierta manera es parecido al adoptado por los streamlines. Si la textura posee trazos verticales y horizontales (caso *e*) se produce un aliasing similar al que ocurre por una distribución constante en el sembrado de los streamlines (Fig. 1a); y si se usan segmentos de dirección aleatoria (casos *g* y



h), el resultado se asemeja más al de los streamlines sembrados con una distribución de Poisson.

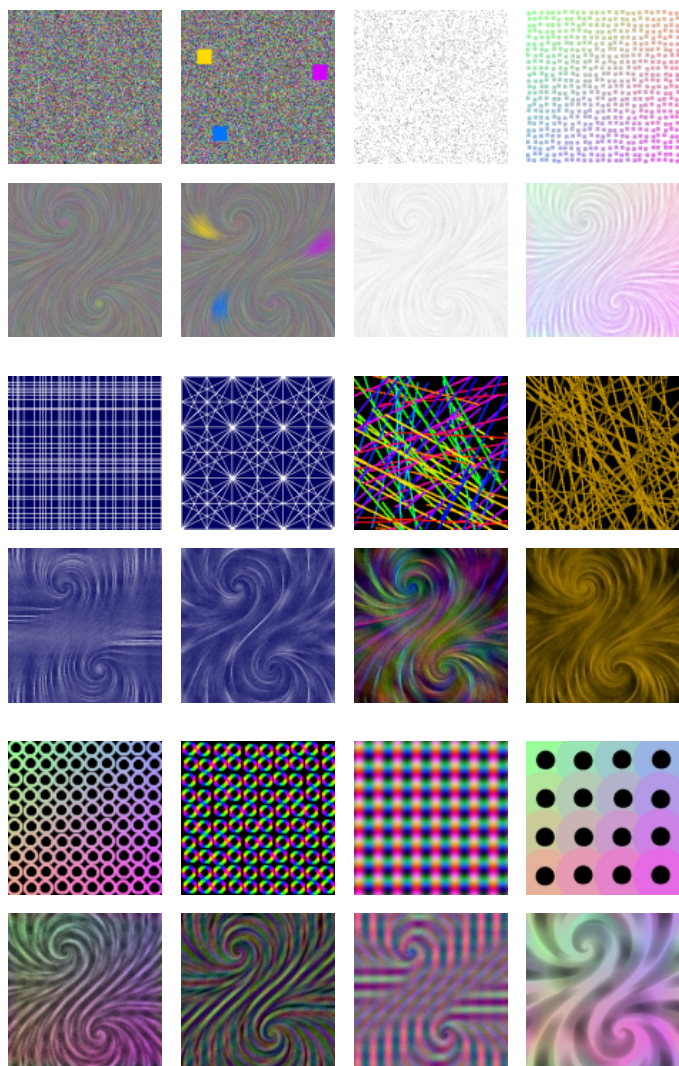


Figura 5. Doce evaluaciones con diferentes texturas.

## 5. Conclusiones y trabajo futuro

Hemos revisado dos métodos de visualización de campos vectoriales, intentando entender sus principales características, ventajas y desventajas. Como conclusión, queremos hacer notar que utilizando  $L$  mayores conseguiremos que las características propias de la textura se acentúen, permitiendo una visualización más clara y hasta más agradable del sistema. Creemos que esta idea también es importante a la hora de buscar un nuevo método que nos permita graficar LICs con una mayor longitud de convolución. Agregamos a los resultados obtenidos la importancia de la textura y la posibilidad de crear animaciones mediante la variación de la textura de entrada. Algunas técnicas introducidas permiten obtener LICs con mayor longitud de kernel en tiempos interactivos, por lo que se hace provechoso seguir estudiando la

posibilidad de crear un método que combine las ventajas de Streamlines y LIC.

## Referencias

- [1] B. Cabral y L. Leedom. "Imaging Vector Fields Using Line Integral Convolution". Proc. of SIGGRAPH '93. En *Computer Graphics* 27, 1993, SIGGRAPH, pp. 263–272.
- [2] C. Delrieux y A. Repetto. "Visualización de Sistemas No Lineales y Caóticos". En *XXV CLEI*, páginas 241–252, Asunción, Paraguay, 1999.
- [3] C. Delrieux. "Visualización de la Dinámica de Sistemas No Lineales". En *RPIC '97*, págs. 151–157, San Juan, 1997.
- [4] Stefan H. Strogatz. "Nonlinear Dynamics and Chaos". Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, 1994.
- [5] B. Jobard, W. Lefer. "Creating Evenly-Spaced Streamlines of Arbitrary Density". VIII Eurographics Workshop on Visualization in Scientific Computing, pp. 57–66, 1997.
- [6] G. Turk, D. Banks, "Image-Guided Streamline Placement", *SIGGRAPH 96 Conference Proceedings*, páginas 453–459.
- [7] T. Delmarcelle y L. Hesselink. "Visualizing Second-Order Tensor Fields with Hyperstreamlines". *IEEE CG&A*, 13(4):25–33, 1993.
- [8] J. J. van Wijk. "Flow Visualization with Surface Particles". *IEEE CG&A*, páginas 18–24, Julio 1993.
- [9] J. J. van Wijk. "Spot noise: Texture synthesis for data visualization". In *Proceedings SIGGRAPH '91*, páginas 309–318, Julio 1991.
- [10] H. Löffelmann, A. König, E. Gröller, "Fast Visualization of 2D Dynamical Systems by the Use of Virtual Ink Droplets", Spring Conference on Computer Graphics, páginas 111–118.
- [11] D. Stalling, H.-C. Hege. "Fast and Resolution Independent Line Integral Convolution". *SIGGRAPH 95 Conference Proceedings*, páginas 249–256.
- [12] H. Hege y D. Stalling. "Fast LIC with Piecewise Polynomial Filter Kernels". En *Mathematical Visualization*, páginas 295–314. Springer-Verlag, 1998.
- [13] C. Delrieux y A. Repetto. "A Fast and Accurate Implementation of the Fast Integral Convolution". En *Proceedings, International Conference on Image Science, Systems and Technology*, pp 136–142, Las Vegas, 2000.
- [14] L. K. Forssell y S. D. Cohen. "Using Line Integral Convolution for Flow Visualization: Curvilinear Grids, Variable-speed Animation, and Unsteady Flows". *IEEE TV&CG* (2):133–141, 1995.
- [15] C. Delrieux, A. Repetto y G. Ramoscelli. "Reconstrucción y Simulación de Diagramas de Fases a Partir de Muestras". En *WICC, Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación*, páginas 168–171, Mayo 2000.
- [16] R. Wegenkittl, E. Gröller, W. Purgathofer. "Animating Flow-fields: Rendering of Oriented Line Integral Convolution". *Computer Animation '97* pp. 15–21, 1997.
- [17] M.H. Kiu, D.C. Banks. "Multi-Frequency Noise for LIC". *IEEE Visualization '96 Proceedings*, páginas 121–126, 1996.
- [18] Vivek Verma, David Kao, y Alex Pang. "PLIC: Bridging the gap between streamlines and LIC". En *Proceedings of Visualization '99*, páginas 341 – 348, Octubre 1999.